

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC997 U.S. PTO
09/928663
08/14/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月16日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-246829

出 願 人

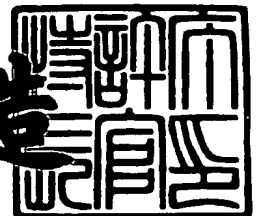
Applicant(s):

日本電気株式会社

2001年 6月12日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3055031

【書類名】 特許願

【整理番号】 33409788

【提出日】 平成12年 8月16日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

【氏名】 佐藤 健二

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088328

【弁理士】

【氏名又は名称】 金田 暢之

【電話番号】 03-3585-1882

【選任した代理人】

【識別番号】 100106297

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 克博

【選任した代理人】

【識別番号】 100106138

【弁理士】

【氏名又は名称】 石橋 政幸

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 089681

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9710078

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザとこれを用いたデジタル光通信システムと方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバーを介して光信号を伝送するデジタル光通信方法において、

前記光ファイバーを伝送する光信号を、光ファイバーに入力する際に、立ち上がり時に波形が安定する以前の周波数が増加となるように整形することを特徴とするデジタル光通信方法。

【請求項 2】 回折格子による分布帰還が行われる半導体レーザにおいて、前記回折格子の規格化結合係数 κL が 2. 0 以上であり、該回折格子の中に設けられた位相シフト量が $\lambda/4$ 以下の位相シフト領域を備え、活性層の利得が、活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 3】 請求項 2 記載の半導体レーザにおいて、位相シフト領域が共振器の中央近傍に形成されていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 4】 請求項 2 または請求項 3 に記載の半導体レーザにおいて、活性層が、成長面に起伏のある多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 5】 請求項 2 または請求項 3 に記載の半導体レーザにおいて、活性層が、2 段ポテンシャル量子井戸で構成される多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 6】 請求項 2 または請求項 3 に記載の半導体レーザにおいて、活性層が、非発光のキャリア再結合層を含むように構成された多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 7】 請求項 2 または請求項 3 に記載の半導体レーザにおいて、活性層が、半導体レーザの共振器軸方向中心に向かうにつれて厚くなるように構成された多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 8】 請求項 2 ないし請求項 7 のいずれかに記載の半導体レーザを

通信用光源として用いたことを特徴とするデジタル光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はデジタル光通信システムにおいて光源として用いられる半導体レーザとこれを用いたデジタル光通信システムおよびデジタル光通信方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来型のデジタル光通信用半導体レーザ装置では、 $\lambda/4$ 位相シフト分布帰還型半導体レーザが広く用いられているが、直接変調による光出力信号を光ファイバーに伝送すると、光ファイバーの分散効果により波形が広がって、ビットエラーレートが悪化してしまうという問題点があった。

【0003】

図12は一般的な光ファイバーを用いた通信システムの構成を示す図である。

【0004】

0と1により情報を表わすデジタル電気信号ES1により電気-光変換素子としての半導体レーザ1201を駆動して、光デジタル信号OSに変換し、光ファイバー1202によって伝送させる。光ファイバー1202から取り出された光デジタル信号OSは、レシーバ1203を介することによりデジタル電気信号ES2に変換される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

光ファイバーを用いた通信システムで最も多く使用される $1.55\mu\text{m}$ 帯の光ファイバーは、光の周波数が高いものは速く進み、周波数が低いものは遅く進むという分散効果が存在する。したがって、電気-光変換素子として用いられる直接変調用半導体レーザの一般的特性は、光強度が変化する時に周波数が減少するため、伝送後の波形は劣化する。

【0006】

半導体レーザには、大別して特開平07-106691号公報に開示されるよ

うな外部変調器付き半導体レーザと、特開平 0 4 - 1 5 6 1 2 0 号公報に開示されるような直接変調型半導体レーザとの 2 種類がある。

【 0 0 0 7 】

特開平 0 7 - 1 0 6 6 9 1 号公報に開示される外部変調構造のものでは、半導体レーザは一定出力で駆動され、出力光を外部で変調する構成であるため、周波数変動は非常に小さくなり、数 1 0 0 k m の伝送が可能とされている。しかしながら、装置構成は複雑になり、コストの面で不利である。

【 0 0 0 8 】

一方、特開平 0 4 - 1 5 6 1 2 0 号公報に開示されるような直接変調のものでは、光強度の変化に伴って、非常に大きな周波数変動がある。これまで報告されているものでは、1 0 0 k m の伝送後には、受信感度の劣化を実質的な受信パワーの損失として見積もった量であるパワーペナルティが数デシベルという高い値であり、長距離の伝送には不向きであった。

【 0 0 0 9 】

本発明は、上述したような従来の技術が有する問題点に鑑みてなされたものであって、1 0 0 k m の伝送後であっても、パワーペナルティが 1 デシベル以下、さらには、マイナスに抑制されたデジタル光通信方法、および、該通信方法に適した半導体レーザを低コストにて実現すること、ならびに、該半導体レーザを用いたデジタル光通信システムを実現することを目的とする。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明のデジタル光通信方法は、光ファイバーを介して光信号を伝送するデジタル光通信方法において、

前記光ファイバーを伝送する光信号を、光ファイバーに入力する際に、立ち上がり時に波形が安定する以前の周波数が増加となるように整形することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

本発明の半導体レーザは、回折格子による分布帰還が行われる半導体レーザにおいて、

前記回折格子の規格化結合係数 κL が 2. 0 以上であり、該回折格子の中に設けられた位相シフト量が $\lambda / 4$ 以下の位相シフト領域を備え、活性層の利得が、活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性であることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

この場合、位相シフト領域が共振器の中央近傍に形成されていてもよい。

【 0 0 1 3 】

また、活性層を、成長面に起伏のある多重量子井戸構造としてもよい。

【 0 0 1 4 】

また、活性層を、その 2 段ポテンシャル量子井戸で構成される多重量子井戸構造としてもよい。

【 0 0 1 5 】

また、活性層を、非発光のキャリア再結合層を含むように構成された多重量子井戸構造としてもよい。

【 0 0 1 6 】

さらに、活性層を、半導体レーザの共振器軸方向中心に向かうにつれて厚くなるように構成された多重量子井戸構造としてもよい。

【 0 0 1 7 】

本発明のデジタル光通信システムは、上記のいずれかに記載の半導体レーザを通信用光源として用いたことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

【発明の実施の形態】

以下に本発明の実施例について説明するが、まず、発明の動作原理について説明する。

【 0 0 1 9 】

図 1 は直接変調型半導体レーザを直接変調したときの周波数変動を詳しく見た図である。

【 0 0 2 0 】

図 1 (a) は本発明による駆動方法を実施したときの半導体レーザの立ち上がり時の光強度および周波数、光ファイバー伝送後の光強度およびアイパターンを

示しており、図 1 (b) は比較例としての従来から行われている駆動方法による半導体レーザの立ち上がり時の光強度および周波数、光ファイバー伝送後の光強度およびアイパターンを示している。

【0021】

半導体レーザを直接変調すると、光出力が 0 レベルから 1 レベルへ上昇する立ち上がり時に、緩和振動と呼ばれる光出力が振動する現象が見られる。それに伴って、光の周波数も振動するが、図 1 (b) に示されるように、光の周波数の振動は光出力の振動ほど激しくはなく、上下幅は小さく、また、全体的に低い周波数へ移動し、あるところで落ち着く。

【0022】

すなわち、緩和振動による光出力の変動分は、周波数が低い方へ動いていくため、光ファイバー伝送後には上述した分散の影響を受け、光出力の振動は時間軸上にて広がることによる。このように、伝送後には緩和振動の周波数が低くなる。レシーバによって電気信号に変換する際には、電気信号に変換した後レシーバ内に設けられたローパスフィルターを通過させる波形整形が行われるが、緩和振動の周波数が低くなっていることからローパスフィルターによって除去されず、緩和振動部分が残ってしまう。

【0023】

一般的には直接変調半導体レーザは上記のように動作するため、光ファイバー伝送後の波形は劣化し、送信した信号を受信した際に誤る確率であるビットエラーレートが増大する。これにより、パワーペナルティが大きくなってしまい、2 ～ 5 デシベルも受信感度が悪くなる。

【0024】

本発明は、直接変調時の周波数変動を、従来とは逆の方向に移動させることにより、光ファイバー伝送後の波形を劣化させないようにしたものである。光出力が 0 レベルから 1 レベルへ上昇した際に、周波数変動が全体的に徐々に高い周波数側へシフトして行くように動作させ、しかも、安定なレベルに到達するまでの時間を従来よりも数倍長くすることで、1 レベルが連続した場合にも効果が現れるようにする。これにより、実際のデジタル光通信に用いられる信号ビットパタ

ーンにおいても、1レベルが連続する数によらず、効果が現れるようにする。

【0025】

本発明においては、上記のように、従来と正反対の周波数変動を起こすことにより、伝送後には緩和振動による光強度の振動周波数が高くなり、電気信号に変換してローパスフィルターを通過した後には、上記緩和振動は切り落とされ、波形が元通りに復元される。したがって、従来よりもパワーペナルティが小さくなり、1デシベル以下が得られる。このように伝送中に緩和振動周波数が高くなるような分散を与えることをパルス圧縮効果と呼ぶ。

【0026】

本発明を実施する半導体レーザとして特開2000-077774号公報に開示され、以下に説明するような構造および特性を備える位相シフトDFBレーザを用いる。

【0027】

位相シフトDFBレーザは、共振器を構成する回折格子構造を、共振器長さ方向に沿って複数の領域に分けて設け、領域どうしの間に、位相シフト部を設け、位相シフト部における全位相シフト量を λ/n （ただし、 λ は発振波長、 $n>4$ ）に相当する量とした構成とされている。

【0028】

半導体レーザの光出力が変動すると、半導体レーザの離調量は光出力の変動と逆位相で変動し、この離調量とともに発振モードを決定する反射鏡損失量も変動し、半導体レーザの発光強度も変動する。

【0029】

反射鏡損失量が増加すると半導体レーザの光出力は低下し、反射鏡損失量が減少すると半導体レーザの光出力は増加する。したがって、離調量の変動に対する反射鏡損失量の変動の方向によって、反射戻り光に起因する光出力の変動が増幅される場合と抑制される場合とがある。

【0030】

離調量の変動に対する反射鏡損失量の変動の方向は、DFBレーザの回折格子構造に設けられた位相シフト量に依存することが知られている。すなわち、位相

シフト量が $\lambda/4$ (λ は発振波長)に相当する量よりも大きなときは、離調量の減少(増加)に対して、反射鏡損失量も減少(増加)することが知られている。したがって、反射戻り光により半導体レーザの光出力が増加した場合には、離調量が減少して反射鏡損失量も減少する。その結果、半導体レーザの光出力はより増加する。すなわち、反射戻り光による光出力の変動が増幅される。このように、位相シフト量が $\lambda/4$ よりも大きなときは、正帰還の現象が生じる。

【0031】

これに対して、位相シフト量が $\lambda/4$ に相当する量よりも小さなときは、離調量の減少(増加)に対して、反射鏡損失量が増加(減少)することが知られている。したがって、反射戻り光により半導体レーザの光出力が増加した場合には、離調量が減少して反射鏡損失量は増加する。その結果、半導体レーザの光出力は減少する方向に変動させられる。すなわち、反射戻り光による光出力の増加が抑制される。このように、位相シフト量が $\lambda/4$ よりも小さなときは、負帰還の現象が生じる。

【0032】

したがって、位相シフト量を $\lambda/4$ に相当する量よりも小さくすれば、反射戻り光に起因するDFBレーザの光出力の変動を抑制することができる。すなわち、DFBレーザの反射戻り光耐性を向上させることができる。

【0033】

本発明の第1の特徴

図1における0レベルの周波数を f_0 、最初のキャリアチャージによる周波数を f_0' 、1レベルの周波数を f_1 とする。本発明の第1の特徴は、 f_0' となる時刻以降で、周波数が f_1 に安定する以前において、時間経過とともに、周波数が f_1 に向かって増加傾向とすること、周波数 f_1 までに安定する時間を従来よりも長くすることである。

【0034】

上記のような特性を備える位相シフトDFBレーザを用いて時間経過とともに周波数が f_1 に向かって増加傾向とする条件としては、規格化結合係数 κL を従来よりも大きくすることが挙げられる。なぜならば、位相シフトDFBレーザで

は、一般的に、軸方向空間的ホールバーニングといって、内部の電界強度が不均一になり、静的な状態においては、バイアス電界に応じて光の周波数が変化する。

【 0 0 3 5 】

規格化結合係数 κL が大きなほど、バイアス電界に応じて光の周波数が変化する度合いが大きくなる。このため、光の周波数を安定化させるために、従来はバイアス電界によって光の周波数が異ならないようにするため、規格化結合係数 κL は 1.5 ～ 2.0 が最適であると考えられていた。これは、規格化結合係数 κL が 2.0 以上では、レーザの静特性には悪影響があると考えられて来たからである。

【 0 0 3 6 】

しかしながら、本発明では、規格化結合係数 κL は 2.0 ～ 3.5 程度を最適としている。ステップ入力の際、通常は最初にキャリア密度が上昇した後 (f_0)、光出力が増大するにつれてキャリア密度が減少し、屈折率が上昇して長波長側へシフトする (図 1 (b) における周波数 f_1)。しかし、規格化結合係数 κL や、後に述べる利得飽和係数 ε が大きな場合、軸方向空間的ホールバーニングの影響が大きくなるため、反射鏡損失が大きく、同じ出力レベルを得るためには、ステップ応答後の安定なレベルにおけるキャリア密度が高くなり、波長が通常よりも短波長側にシフトする。この短波長側にシフトする量の方が、長波長側へシフトする量よりも大きなときには、本発明の通り、時間経過とともに周波数が f_1 に向かって増加傾向とする波長にシフトして行き、結果的にパルスは圧縮される方向になる。

【 0 0 3 7 】

本発明では、伝送特性改善のために通常よりも大きな規格化結合係数 κL を用いるが、一般的に規格化結合係数 κL を大きくすると半導体レーザの電流－光出力特性の線形性が悪化する。この点を考慮し、本発明では、通信用レーザとして耐えうる限界の規格化結合係数の最大値を 3.5 とした。

【 0 0 3 8 】

規格化結合係数 κL を大きくするには、一般的には回折格子の振幅を大きくと

り、回折格子に接する両側の半導体の屈折率差を大きくすることである。

【0039】

本発明の第2の特徴

また、本発明においては、 f_1 までに安定する時間を長くするために、活性層の光利得が、キャリア密度増大につれて飽和する構造としている。たとえば、光利得として、

$$g = A (N - N_0) / (1 + \varepsilon N) \cdots \text{式1}$$

という形を想定すると、利得－キャリアの特性は図3の曲線に示すものとなる。ここで、 A は微分利得、 N は活性層キャリア密度、 N_0 は活性層が透明になるキャリア密度である。

【0040】

これはキャリア密度が上昇すれば、光利得の上昇率（微分利得）が減少することを示しており、このことにより、1レベルへバイアスされると、徐々に安定な方向へ向かうに従って、活性層のキャリア密度が増大し、微分利得が減少することになる。半導体レーザの緩和振動の周波数は、微分利得の平方根に比例するため、上述のように微分利得が動的に減少する効果があれば、光の周波数が周波数 f_1 へ安定するまでの時間が長くなって行くことがわかる。従来、利得飽和係数 ε はほぼ0とされていたため、上述したような効果はほとんど見られなかった。

【0041】

本発明の第3の特徴

上述の高い周波数へシフトして伝送特性を改善する効果をさらに増大させるためには、位相シフトDFBレーザの位相シフト量を従来の $\lambda/4$ よりも小さな値にすることが効果的である。位相シフト量とは、共振器軸上のある位置において、光が回折格子から受ける余分な位相シフトのことである。位相シフト量が小さな程、反射鏡損失が増大するため、短波側へシフトする量をさらに増大させている。

【0042】

また、特開2000-077774号公報に記載されているように、位相シフト量が小さいと、緩和振動による光出力変動が小さくなるため、周波数変動もさ

らに小さくなる。本発明に上記構造を適用すると、緩和振動による光出力の振動振幅が減少するため、伝送後の波形劣化が少なくなる。したがって、本発明の効果をさらに増大させ、伝送後のパワーペナルティをさらに小さくすることができる。

【 0 0 4 3 】

また、本発明の構造は、よく知られているように、活性層の利得ピーク波長よりも短波長でレーザ発振を行うように回折格子周期を設定した方が、微分利得が上昇するため、より効果的である。

【 0 0 4 4 】

図 5 (A), (B) のそれぞれは規格化結合係数 κL を 3.0 および 2.0 として、本発明のパルス圧縮効果が現れる位相シフト量と利得飽和係数 ε との関係を示す図である。

【 0 0 4 5 】

本発明の構造によるパルス圧縮効果は、利得飽和係数 ε が図 5 の斜線の範囲で現れる。また、式 1 の形は一つの例であり、光利得がキャリア密度 N が増大することによって上昇率が減少するという意味では、式 1 に限らない。後述する実施例では、このような構造を意図的に作るための量子井戸活性層構造を示している。

【 0 0 4 6 】

図 4 のそれぞれは、以上のような本発明の特徴を踏まえて、半導体レーザの周波数変動を計算した図であり、図 4 (a) は本発明のパルス圧縮効果が現れる以下の条件による半導体レーザの周波数変動および出力光強度を示し、図 4 (b) は比較例としての以下の条件による従来の半導体レーザの周波数変動および出力光強度を示す図である。

【 0 0 4 7 】

本発明 : $\kappa L = 3.0$ 位相シフト $= \lambda / 8$ $\varepsilon = 2 \times 10^{-7} \mu m^3$

従来 : $\kappa L = 2.0$ 位相シフト $= \lambda / 4$ $\varepsilon = 0$

従来例では $f_1 - f_0 = 10 GHz$ 程度であったのが、本発明では $f_1 - f_0 = 40 GHz$ 程度にすることができる。従来例も本発明も、 $f_0' - f_0 = 20$

GHz 程度なため、本発明の構造によるパルス圧縮効果が得られている。

【0048】

【実施例】

実施例 1

図 2 は、本発明が適用された DFB レーザの第 1 の実施例の構成を示す断面図であり、図 2 (a) はレーザ光の導波方向に沿った断面を示す断面図であり、図 2 (b) は該導波方向に垂直な断面を示す断面図、図 6 はその寸法をも含んで示す断面図、図 7 はその多重量子井戸のバンド構造を示す図である。

【0049】

本実施例の DFB レーザは、共振器長 $300\ \mu\text{m}$ 、高さ $100\ \mu\text{m}$ のもので、 n^+ -InP 基板 1 の上に、位相シフト領域 7 を含む高さ $0.05\ \mu\text{m}$ の回折格子 8 を設け、高さ $1\ \mu\text{m}$ の n -InGaAsP の光ガイド層 2、高さ $0.1\ \mu\text{m}$ の InGaAsP の MQW 層 3、高さ $0.2\ \mu\text{m}$ の p -InGaAsP の光ガイド層 4、高さ $2\ \mu\text{m}$ の p -InP のクラッド層 5 および高さ $0.1\ \mu\text{m}$ の p^+ -InGaAsP のキャップ層 6 を順に積層している。なお、 p -InP のクラッド層 5 には、図 2 (b) に示すように、効率よく電流が InGaAsP の MQW 層 3 を流れるように、電流狭窄を目的とした n -InP の埋め込み層 10 が形成され、活性層である MQW 層 3 の両側部分も p -InP の埋め込み層 9 とされている。

【0050】

MQW (多重量子井戸) 3 は、図 7 のバンド構造に示されるように、バンドギャップエネルギーを波長換算した値が $1.2\ \mu\text{m}$ となる厚さ $100\ \text{\AA}$ の InGaAsP と原子間距離の圧縮歪みが 0.7% となる格子状態であり、量子準位のバンド間エネルギーを波長換算した値が $1.57\ \mu\text{m}$ となる厚さ $60\ \text{\AA}$ の InGaAsP とを交互に積層し、各光ガイド層 2、4 との間については、バンドギャップエネルギーを波長換算した値が $1.2\ \mu\text{m}$ となる厚さ $200\ \text{\AA}$ の InGaAsP としたものである。

【0051】

本実施例では、共振器を構成する回折格子 8 を、共振器長さ方向に沿って二つ

の領域に分けて設けている。さらに、各回折格子 8 の間に、位相シフト領域 7 を設けている。そして、位相シフト領域 7 における位相シフト量を λ/n (ただし、 λ は発振波長、 $n > 4$)、例えば $\lambda/8$ ($n = 8$) に相当する量としている。

【 0 0 5 2 】

本実施例では、共振器の長さを L とし、回折格子 8 の周期 (ピッチ) を Λ とする。そして、位相シフト領域 7 として、共振器長さ方向に沿った幅が λ/n の平坦面を設けてある。その結果、回折格子 8 のうち、位相シフト領域 7 に直近の回折格子のピークどうしの間隔は $(\Lambda - \lambda/n)$ となっている。なお、ここでの位相シフト量は、光が回折格子から余分に受ける位相量である。

【 0 0 5 3 】

なお、位相シフト領域 7 には、必ずしも平坦面を設ける必要はなく、例えば、各回折格子 8 の位相差 (進み) が λ/n となるように各回折格子 8 を隣接させても良い。

【 0 0 5 4 】

また、この共振器の前端面および後端面には、低反射膜 11 が設けられている。そして、InGaAsP の MQW 層 3 を挟んで上下に設けられた上面電極と裏面電極 (ともに不図示) との間に電圧を印加して、DFB レーザに電流を注入することにより、DFB レーザを発振させる。

【 0 0 5 5 】

本実施例においては、規格化結合係数 κL を大きくするために、従来よりも回折格子 8 の振幅を大きくする、または、 n - InGaAsP 光ガイド層 2 の組成を調節して屈折率を基板 1 の n - InP との差を大きくすることで 2.0 ~ 3.5 程度の規格化結合係数 κL を得ている。

【 0 0 5 6 】

実施例 2

次に、本発明の第 2 の実施例について説明する。

【 0 0 5 7 】

本実施例は、活性層を成長面に起伏のある多重量子井戸構造とすることで活性層の利得を、活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性とするものである。

り、図 8 はその形成工程を段階的に示す図である。

【0058】

本実施例は、基本的には図 2、図 6 および図 7 に示した第 1 の実施例と同様の構造を有するものである。

【0059】

まず、 n^+ -InP 基板上に位相シフト領域を含む幅 $10\ \mu\text{m}$ の回折格子をパターニングし（図 8（a））、続いて、回折格子が $1.5\ \mu\text{m}$ 幅で露出するように SiO_2 をパターニングする（図 8（b））。次に、露出している回折格子上に反応管内温度 655°C で V 族元素と III 族元素の分圧比（V-III 比）は 400 で成長した n -InGaAsP の光ガイド層を形成し（図 8（c））、さらに、InGaAsP の MQW 層を成長させる（図 8（d））。

【0060】

ここで、 n -InGaAsP の光ガイド層は図示されるように起伏のある形状とされているため、その後成長する MQW 層もその成長面が起伏を有するものとなる。この起伏の形状としては、図示される例では中央部が凸形状とされているが、本実施例の目的が、活性層（MQW 層）の利得を、活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性とすることであり、このような特性となる形状であればよい。例えば、中央部が凹形状であってもよく、成長面に起伏のある多重量子井戸構造とすることが重要であり、図示される形状に限定されるものではない。

【0061】

次に、 p -InGaAsP の光ガイド層を形成した後に（図 8（e））、 n^+ -InP 基板上の SiO_2 を除去し（図 8（f））、 p -InGaAsP の光ガイド層上に SiO_2 をパターニングする（図 8（g））。続いて、 n^+ -InP 基板上に p -InP の埋め込み層、 n -InP の埋め込み層を順に積層させ（図 8（h））、 p -InGaAsP の光ガイド層上の SiO_2 を除去し（図 8（i））、 p -InP のクラッド層および p^+ -InGaAsP のキャップ層を順に積層した（図 8（j））。なお、本実施例の量子井戸構造においては、層厚の最大と最小で 2 倍程度となるようにした。

【0062】

上記のように構成される本実施例においては、活性層であるMQW層が成長面に起伏のある多重量子井戸構造であることから、利得飽和係数 ε が増大し、その利得が活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性となり、パルス圧縮効果を奏するものとなった。

【0063】

実施例 3

次に、本発明の第3の実施例について説明する。

【0064】

本実施例は、第1の実施例と同様の構造を有するものであり、活性層を、2段ポテンシャル量子井戸で構成される多重量子井戸構造とした点のみが異なっている。図9は本実施例における活性層のバンド構造を示す図である。

【0065】

本実施例における多重量子井戸構造は、図9に示されるように、バンドエネルギーを波長換算した値が $1.2\mu\text{m}$ となるInGaAsPのバリア層と、バンドエネルギーを波長換算した値が $1.25\mu\text{m}$ となるInGaAsPの副バリア層と、InGaAsPの量子井戸層から構成されている。このようなバンド構造とすることにより、発光に活用される電子が少ないものとなり、利得飽和係数 ε が増大し、その利得が活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性となり、パルス圧縮効果を奏するものとなった。

【0066】

実施例 4

次に、本発明の第4の実施例について説明する。

【0067】

本実施例は、第1の実施例と同様の構造を有するものであり、活性層を、非発光のキャリア再結合層を含むように構成された多重量子井戸構造とした点のみが異なっている。図10は本実施例における活性層のバンド構造を示す図である。

【0068】

本実施例における多重量子井戸構造は、図9に示されるように、バンドエネルギーを波長換算した値が $1.2\mu\text{m}$ となる厚さ 60\AA および 100\AA のInGa

AsPのバリア層と、これらのバリア層間に形成されるInGaAsPの量子井戸層から構成されている。厚さ100ÅのInGaAsPが非発光のキャリア再結合層となるもので、電子は厚さ60ÅのInGaAsPによる量子井戸の中に貯まった後にトンネル電流のかたちで厚さ100ÅのInGaAsPによる量子井戸に移動する。厚さ100ÅのInGaAsPによる量子井戸に移動した電子は発光に寄与しないため、発光に活用される電子が少ないものとなり、利得飽和係数 ε が増大し、その利得が活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性となり、パルス圧縮効果を奏するものとなった。

【0069】

実施例 5

次に、本発明の第5の実施例について説明する。図11は本実施例の構造を示す断面図である。

【0070】

本実施例は、第1の実施例と同様の構造を有するものであり、活性層を、図11に示すように半導体レーザの共振器軸方向中心に向かうにつれて厚くなるように構成された多重量子井戸構造とした点のみが異なっている。

【0071】

上記のように構成される本実施例においては、共振器軸方向の位置により多重量子井戸の間隔が異なるものとなるので、発光に活用される電子が少ないものとなり、利得飽和係数 ε が実質的に増大し、その利得が活性層内のキャリア密度の上昇により飽和する特性となり、パルス圧縮効果を奏するものとなった。

【0072】

また、中心部の厚さを端面部の厚さより2割程度厚くしたことにより、実施例2における層厚の最大最小比が2倍であったのと同等の効果が得られた。

【0073】

実施例 6

次に、本発明の第6の実施例について説明する。

【0074】

本実施例は、デジタル光通信システムにおける電気-光変換素子として上述し

たような各実施例に示される半導体レーザを用いるものであり、その他の構成は図 1 2 に示した従来例と同様であるため図示省略する。

【0075】

各実施例に示される半導体レーザを電気-光変換素子として用いることにより、光ファイバー伝送後には緩和振動による光強度の振動周波数が高くなり、電気信号に変換してローパスフィルターを通過した後には、上記緩和振動は切り落とされ、波形が元通りに復元され、従来よりもパワーペナルティを小さくすることができた。例えば、2.5Gb/s の直接変調の信号を 100km 伝送させた後のパワーペナルティを 1 デシベル以下とすることができた。

【0076】

【発明の効果】

本発明は以上説明したように構成されているので、以下に記載するような効果を奏する。

【0077】

利得飽和を起こしやすい半導体レーザとし、パルス圧縮が発生する状態として電気-光変換を行うため、光ファイバーを用いた長距離伝送を行う際のパワーペナルティを低く抑えることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(a) は本発明による駆動方法を実施したときの半導体レーザの立ち上がり時の光強度および周波数、光ファイバー伝送後の光強度およびアイパターンを示す図、(b) は比較例としての従来から行われている駆動方法による半導体レーザの立ち上がり時の光強度および周波数、光ファイバー伝送後の光強度およびアイパターンを示す図である。

【図 2】

本発明が適用された DFB レーザの第 1 の実施例の構成を示す断面図であり、(a) はレーザ光の導波方向に沿った断面を示す断面図であり、(b) は該導波方向に垂直な断面を示す断面図である。

【図 3】

活性層の光利得が、キャリア密度増大につれて飽和する構造としたときの利得－キャリアの特性を示す図である。

【図 4】

半導体レーザの周波数変動を計算した図であり、（a）は本発明のパルス圧縮効果が現れる条件による半導体レーザの周波数変動および出力光強度を示し、（b）は比較例としての従来の半導体レーザの周波数変動および出力光強度を示す図である。

【図 5】

（A），（B）のそれぞれは規格化結合係数 κL を 3.0 および 2.0 として、本発明のパルス圧縮効果が現れる位相シフト量と利得飽和係数 ε との関係を示す図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施例の寸法をも含んで示す断面図である。

【図 7】

本発明の第 1 の実施例の多重量子井戸のバンド構造を示す図である。

【図 8】

（a）～（j）のそれぞれは本発明の第 2 の実施例の形成工程を段階的に示す図である。

【図 9】

本発明の第 3 の実施例における活性層のバンド構造を示す図である。

【図 10】

本発明の第 4 の実施例における活性層のバンド構造を示す図である。

【図 11】

本発明の第 5 の実施例の構造を示す断面図である。

【図 12】

一般的な光ファイバーを用いた通信システムの構成を示す図である。

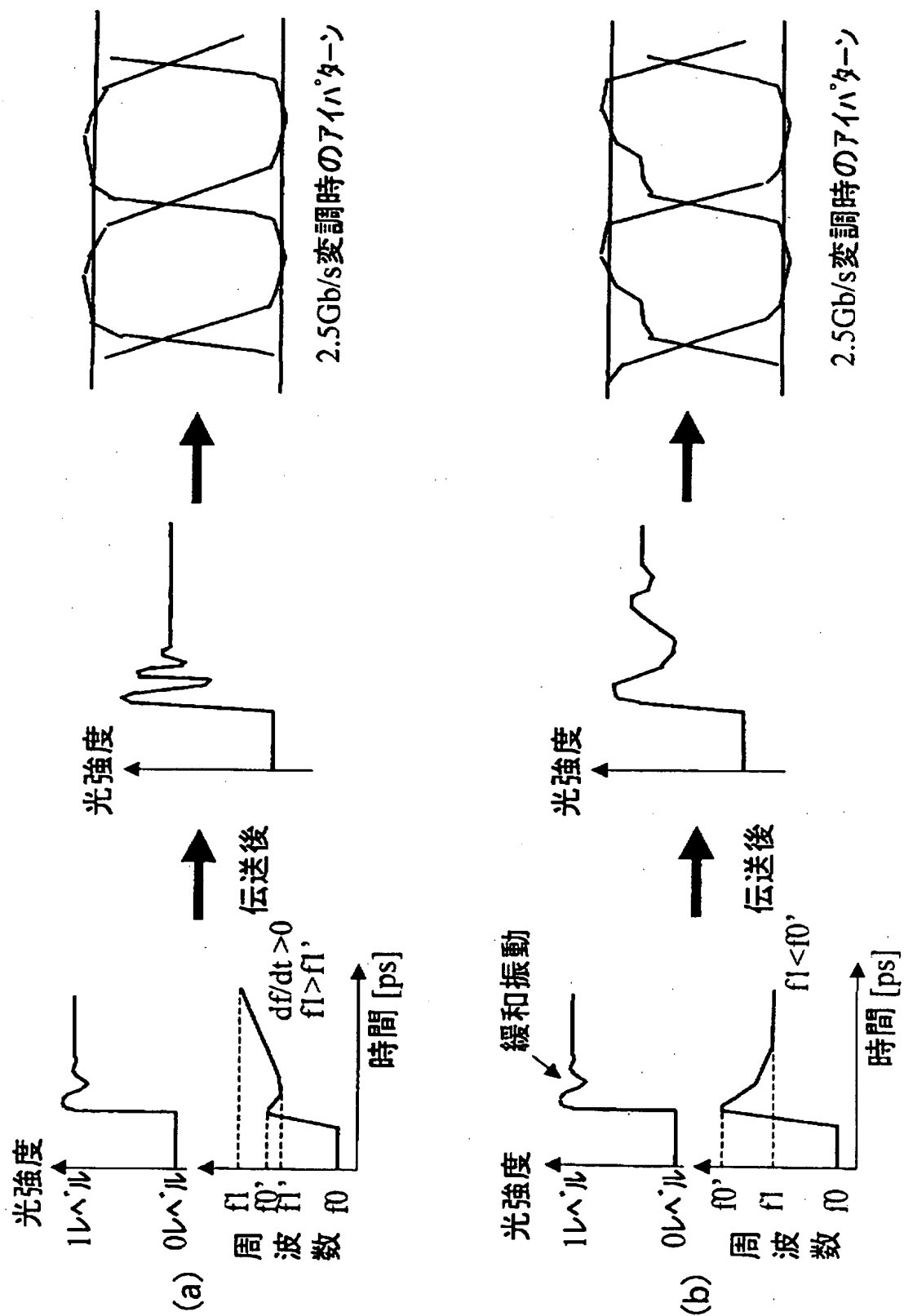
【符号の説明】

- 1 $n^+ - \text{InP}$ 基板
- 2 光ガイド層

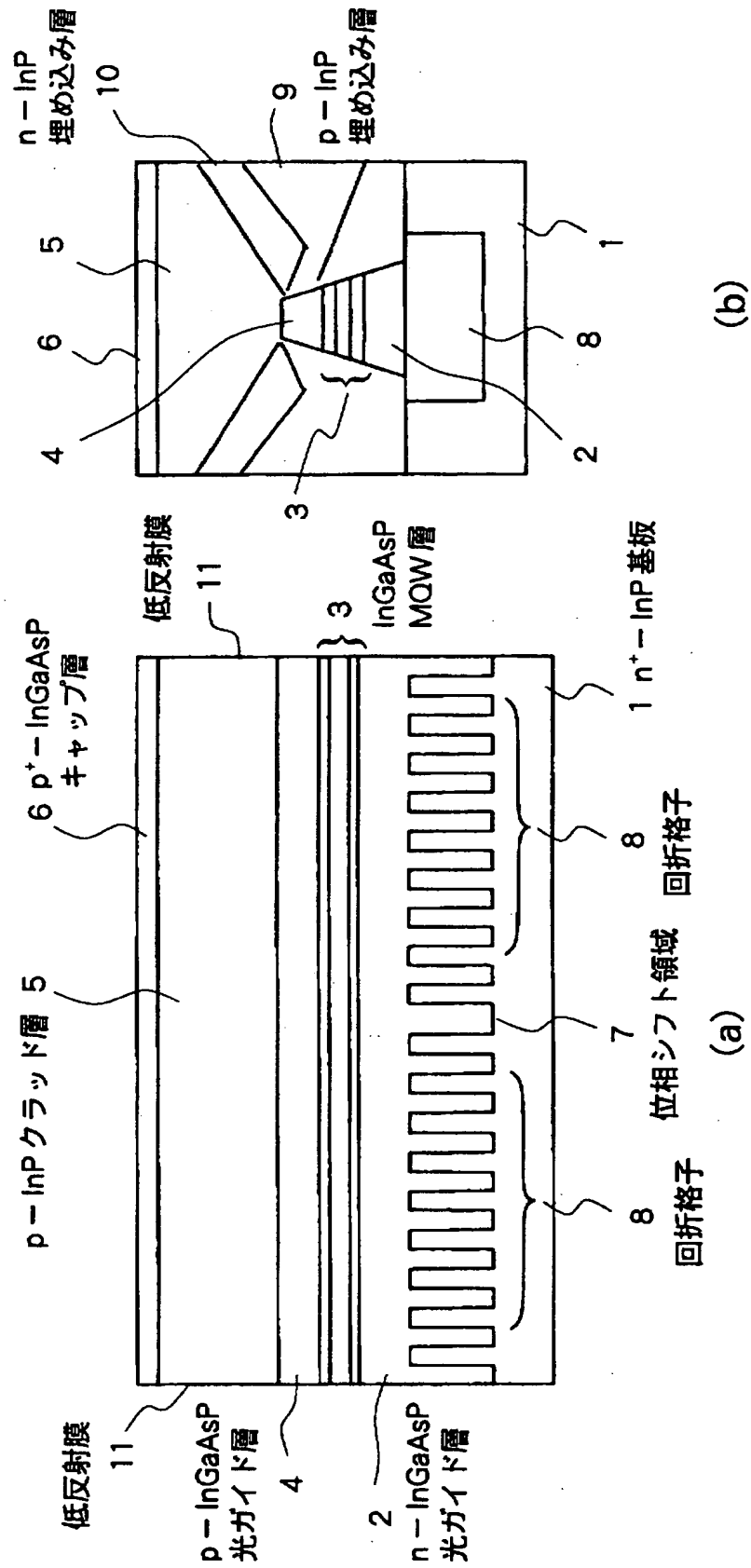
- 3 MQW層
- 4 光ガイド層
- 5 クラッド層
- 6 キャップ層
- 7 位相シフト領域
- 8 回折格子
- 9 埋め込み層
- 1 0 埋め込み層
- 1 1 低反射膜

【書類名】 図面

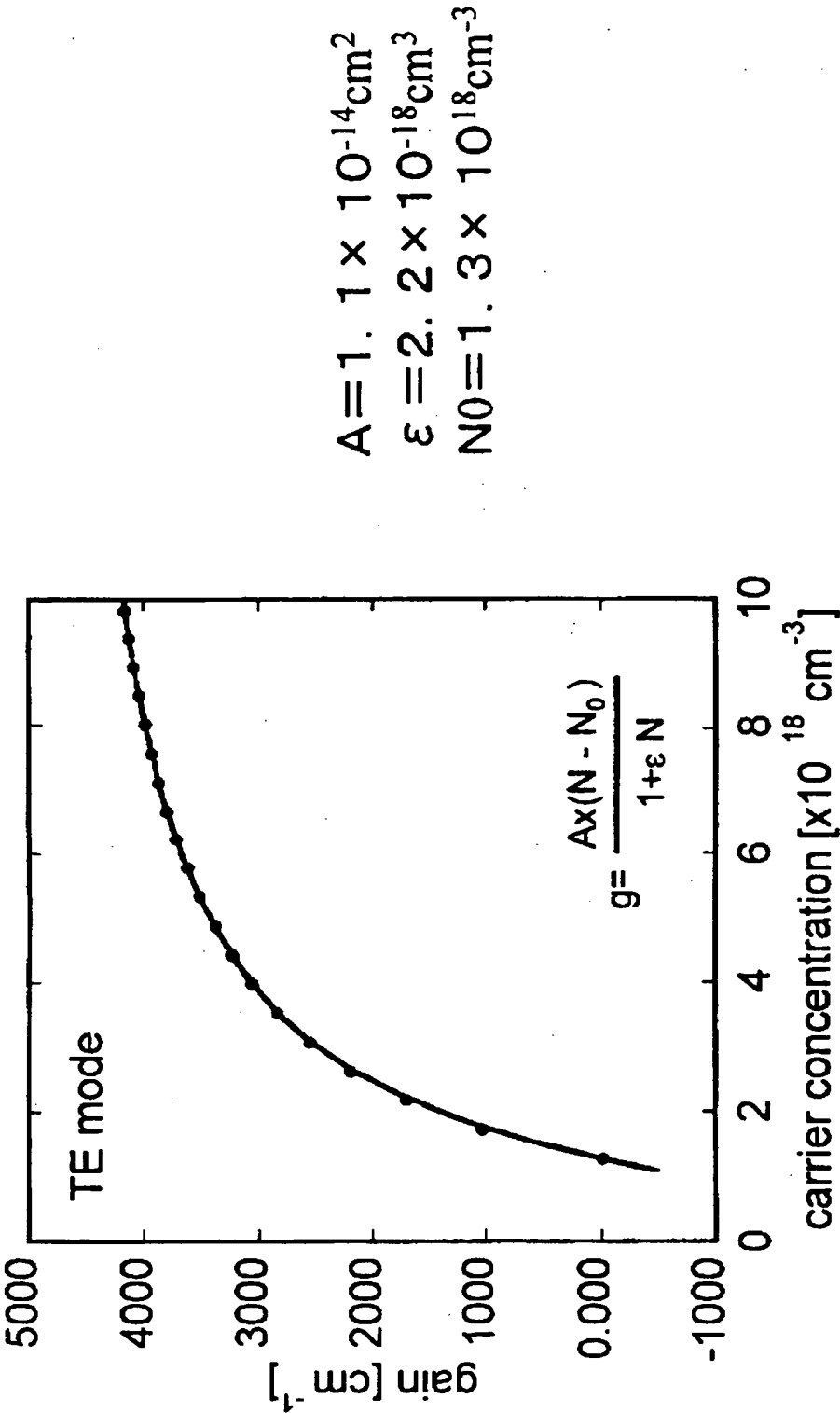
【図 1】



【図2】

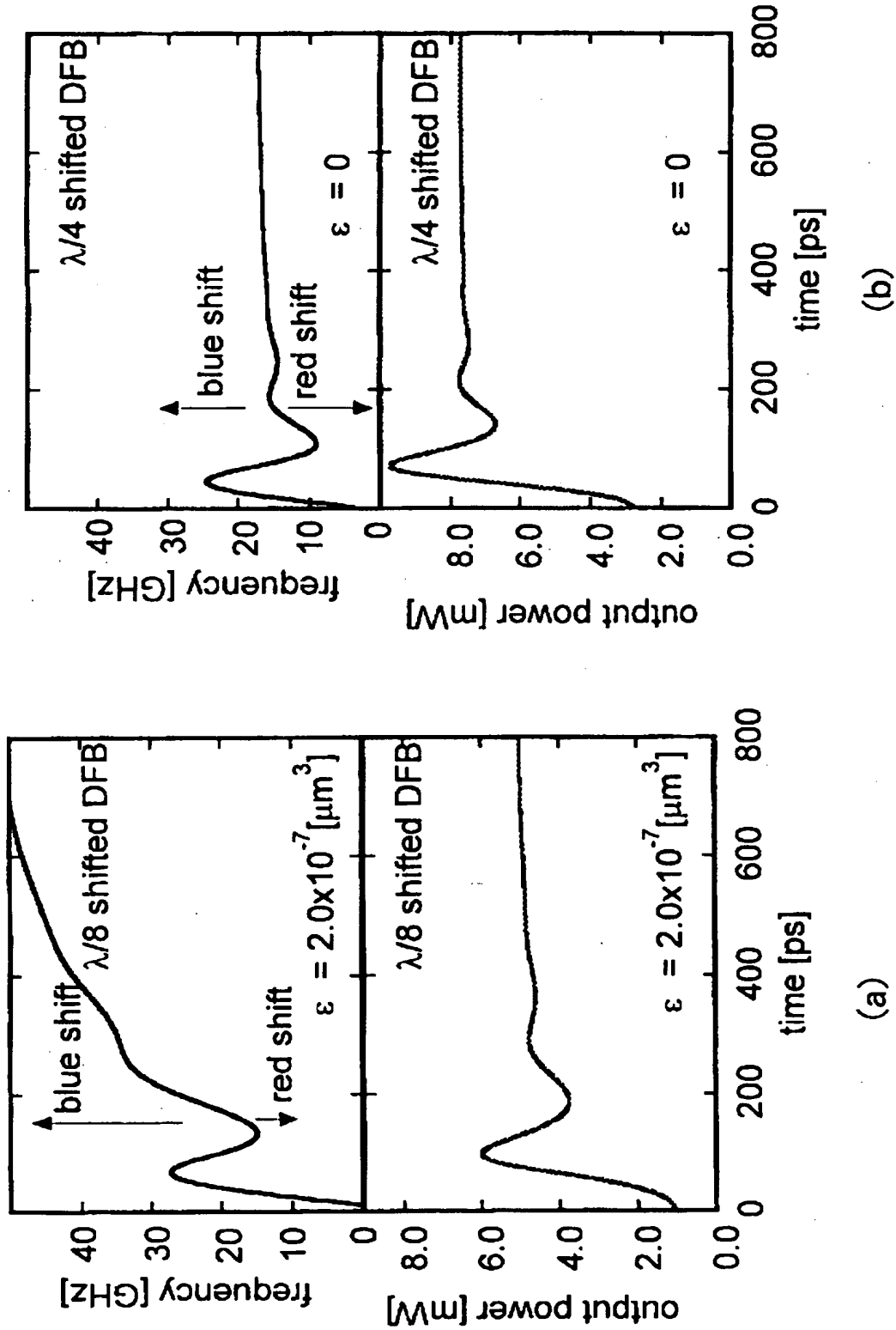


【図 3】

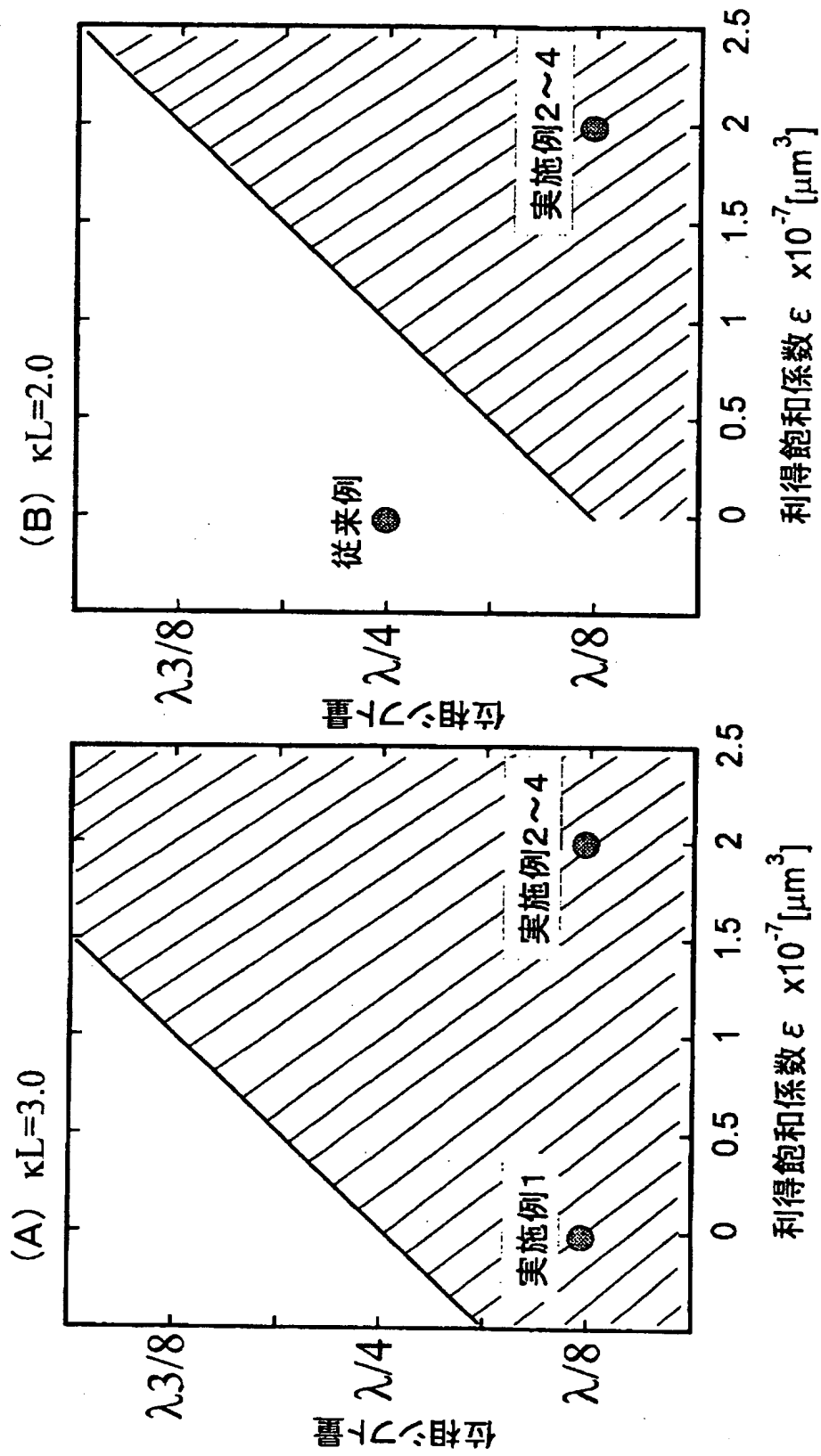


活性層利得のキャリア密度依存性

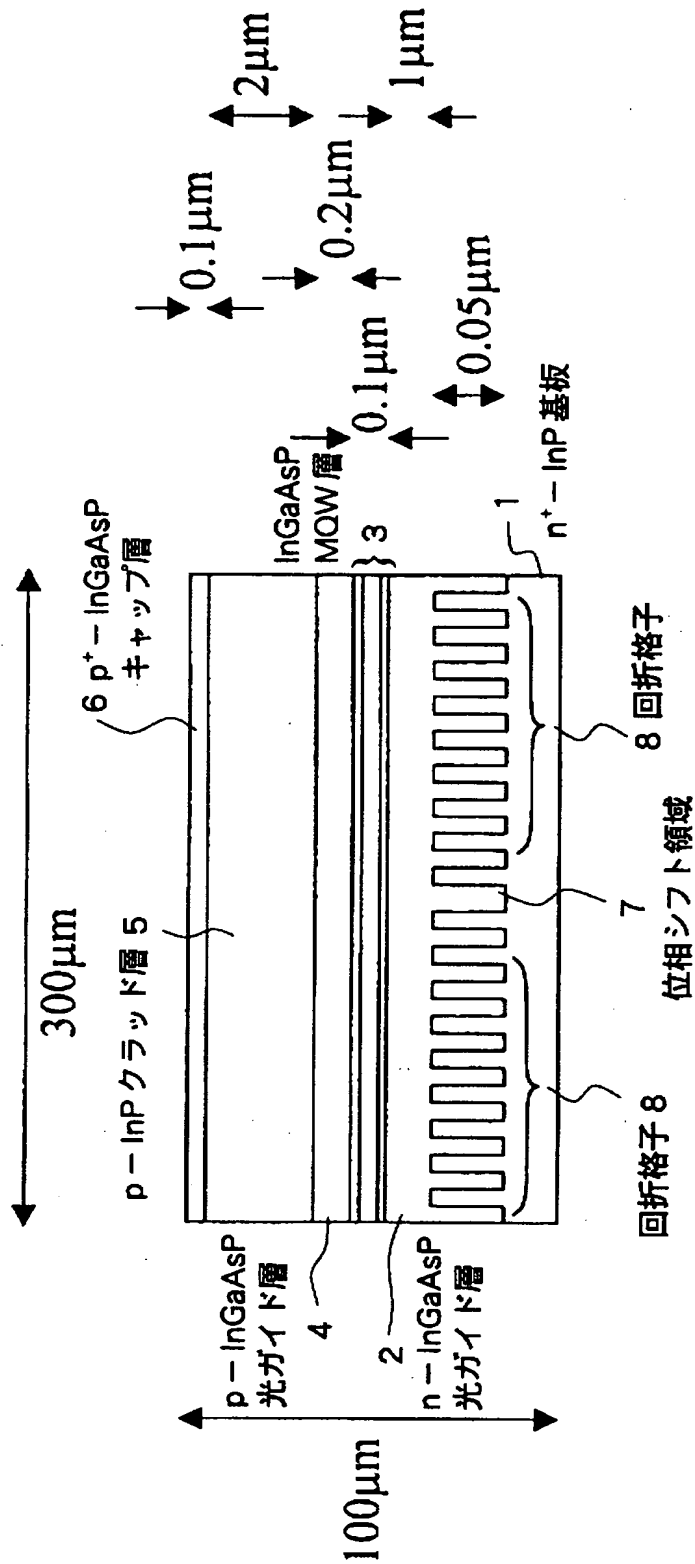
【図 4】



【図 5】

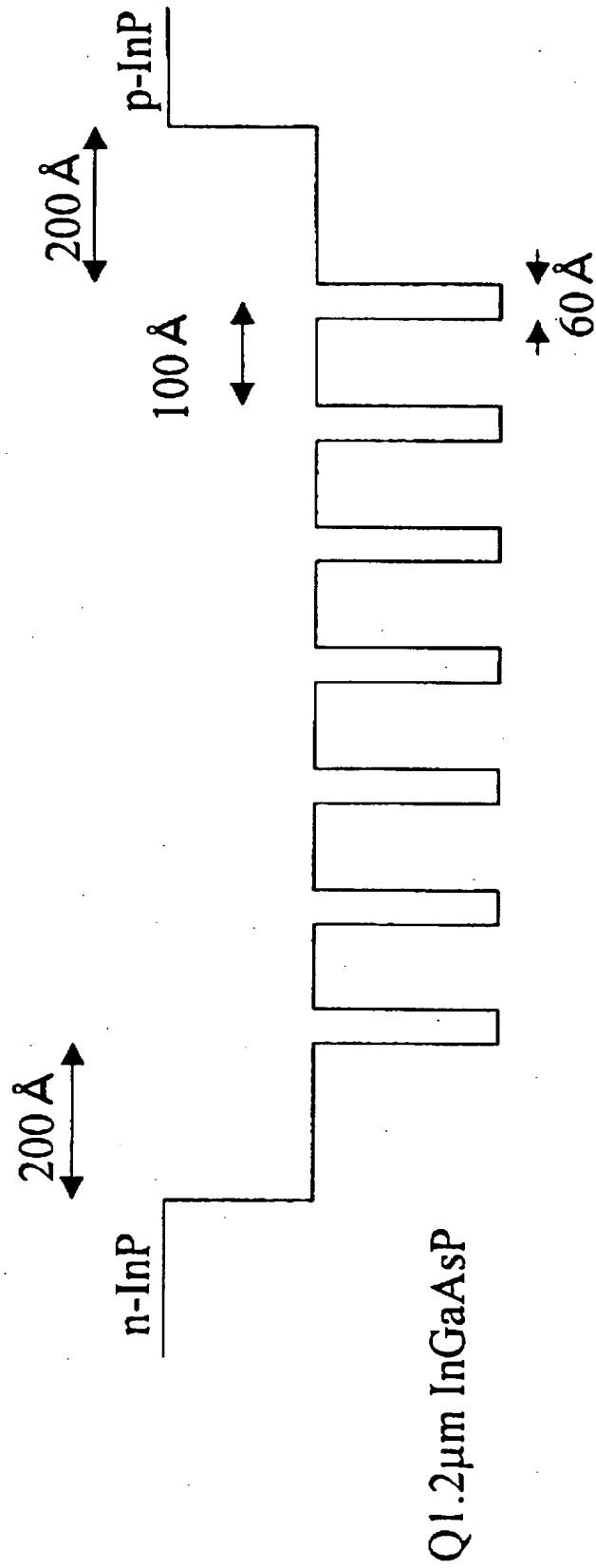


【図 6】



実施例 1 の半導体レーザ断面図

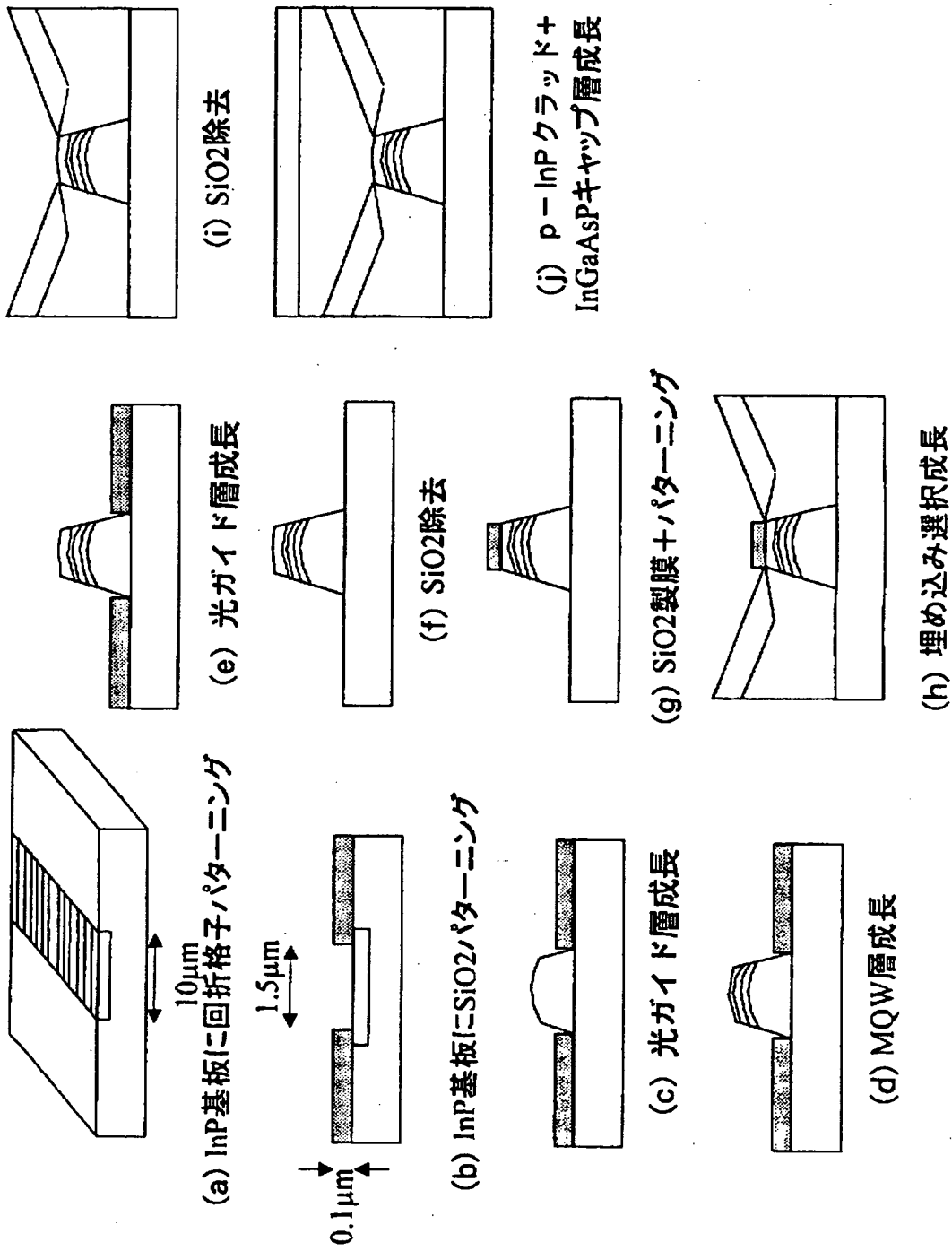
【図 7】



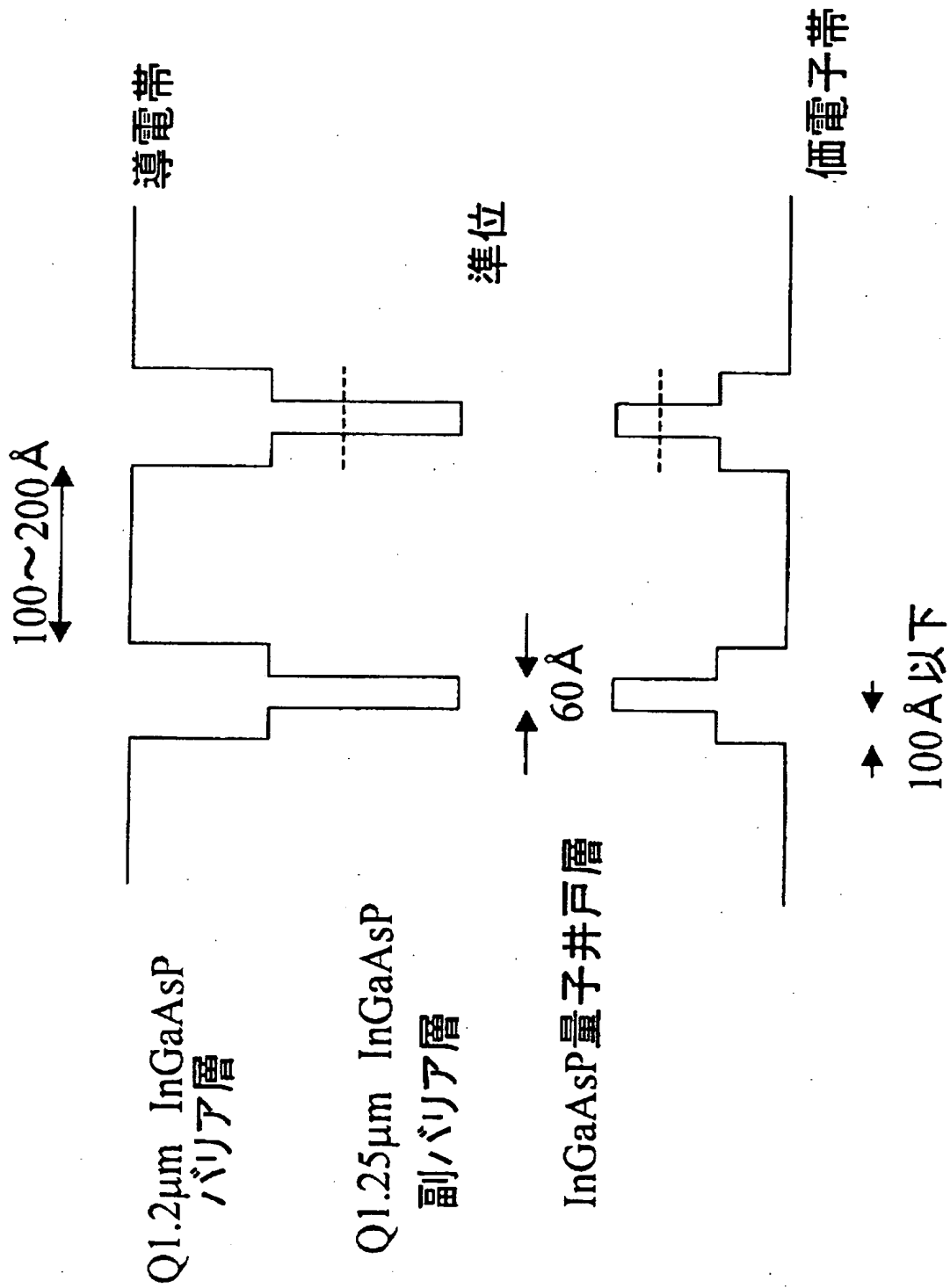
圧縮歪0.7% 1.57μmに井戸準位

量子井戸のバンド構造

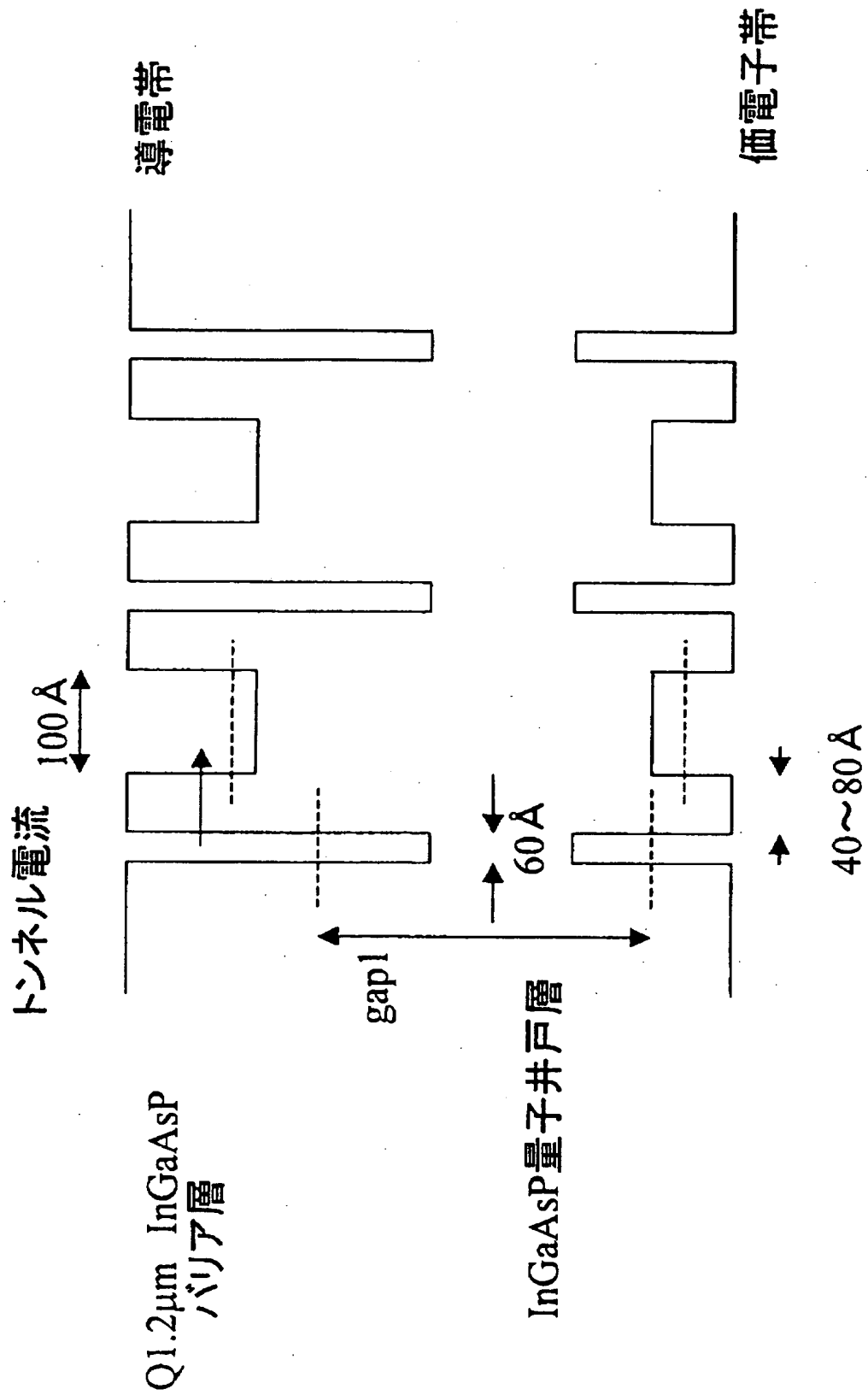
【図 8】



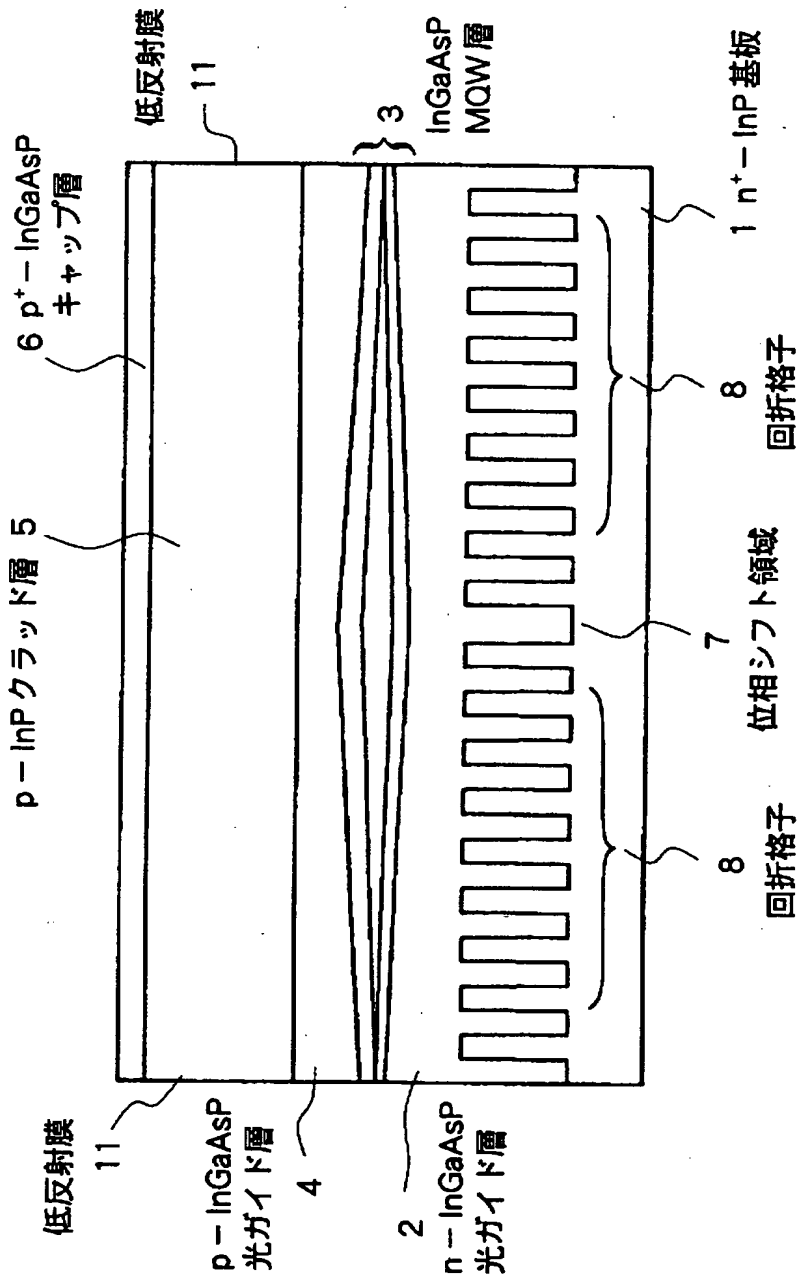
【図 9】



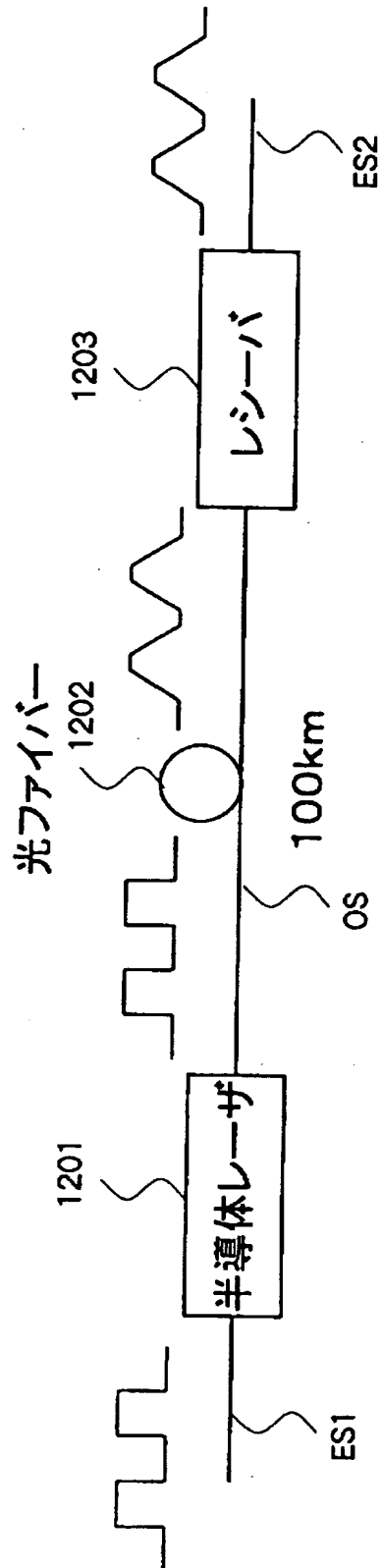
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光ファイバーによる長距離伝送後であっても、パワーペナルティが抑制されたデジタル光通信方法を実現すること。

【解決手段】 光ファイバーを介して光信号を伝送するデジタル光通信方法において、前記光ファイバーを伝送する光信号を、光ファイバーに入力する際に、立ち上がり時に波形が安定する以前の周波数が増加となるように整形する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
氏 名	日本電気株式会社